

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(studij za stjecanje visoke stručne spreme

i stručnog naziva: magistar kineziologije)

Miran Milunović

**ANALIZA UČINAKA NAJČEŠĆIH
MODALITETA VJEŽBI ISTEZANJA NA
MEHANIČKI IZLAZ MIŠIĆA**

(diplomski rad)

Mentor:

doc. dr. sc. Pavle Mikulić

Zagreb, rujan 2016.

Analiza učinaka najčešćih modaliteta vježbi istezanja na mehanički izlaz mišića

SAŽETAK

Glavni cilj ovog rada je prikazati najnovija saznanja o učincima najčešćih modaliteta vježbi istezanja na mehanički izlaz mišića (jakost i brzinu) te definirati primjenu i doziranje različitih modaliteta vježbi istezanja neposredno prije sportske aktivnosti. U posljednje vrijeme sve je više polemika o negativnim učincima statičkog i PNF istezanja te preporučenom korištenju dinamičkog istezanja kao adekvatnoj zamjeni za navedene modalitete istezanja. Istraživanja su pokazala uglavnom negativne učinke statičkog i PNF istezanja na dimenzije jakosti, snage i brzine, međutim, ti su učinci u osnovi vrlo mali i brzo prolazni. Važno je spomenuti da se ti negativni učinci navedenih modaliteta istezanja manifestiraju isključivo pri produženom zadržavanju istegnutog položaja (>60 sekundi). S druge strane, učinci dinamičkog istezanja su uglavnom pozitivni naročito kod komponente brzine. Preporuka je da se statičko i PNF istezanje slobodno koristi pri pripremi za sportske aktivnosti, međutim, važno je paziti da ne traje dulje od 60 sekundi po mišićnoj skupini te da se prije glavne aktivnosti provede set vježbi dinamičkog istezanja kao i specifična priprema za aktivnost.

Ključne riječi: statičko istezanje, dinamičko istezanje, proprioceptivna neuromuskularna facilitacija, zagrijavanje, izvedba.

Analysis of the most common modalities of stretching exercises on mechanical muscle output

SUMMARY

Main purpose of this work is to present newest findings regarding effects of the most common modalities of stretching exercises on mechanical output of muscle (strength and speed) and to define application and dosage of various modalities of stretch exercises immediately before sport activity. Recently, there have been many polemics about negative effects of static and PNF stretching and recommended usage of dynamic stretching as adequate replacement for aforementioned stretching modalities. Researches showed mostly negative effects of static and PNF stretching on strength, power and speed, although, those effects are basically very small and fast transient. It is important to

mention that these negative effects of aforementioned stretching modalities manifest exclusively during prolonged retention of stretched position (>60 seconds). On the other hand, effects of dynamic stretching are mostly positive especially in component of speed. Recommendation is freely usage of static and PNF stretching during preparation for sport activities, although, it is important to pay attention that it is not held longer than 60 seconds per muscle group and to carry out a set of dynamic stretching exercises as well as specific preparation for activity.

Key words: static stretching, dynamic stretching, proprioceptive neuromuscular facilitation, warm-up, performance.

SADRŽAJ

1. UVOD	6
2. SKELETNI MIŠIĆ	6
2.1. GRAĐA SKELETNOG MIŠIĆA	8
2.1.1. MIOFIBRILI: AKTIN I MIOZIN.....	8
2.1.2. SARKOPLAZMA.....	9
2.1.3. MOTORIČKA JEDINICA	10
2.2. MEHANIZAM MIŠIĆNE KONTRAKCIJE	11
2.3. VEZIVNO TKIVO I TETIVE	12
3. OSJETNI RECEPTORI ZNAČAJNI ZA MIŠIĆNU FUNKCIJU	14
3.1. MIŠIĆNO VRETENO.....	15
3.2. GOLGIJEV TETIVNI ORGAN.....	17
4. VJEŽBE ISTEZANJA	18
4.1. STATIČKO ISTEZANJE	22
4.1.1. UTJECAJ VJEŽBI STATIČKOG ISTEZANJA NA JAKOST.....	23
4.1.2. UTJECAJ VJEŽBI STATIČKOG ISTEZANJA NA BRZINU	25
4.2. DINAMIČKO ISTEZANJE.....	26
4.2.1. UTJECAJ VJEŽBI DINAMIČKOG ISTEZANJA NA JAKOST	27
4.2.2. UTJECAJ VJEŽBI DINAMIČKOG ISTEZANJA NA BRZINU.....	28
4.3. PROPRIOCEPTIVNA NEUROMUSKULARNA FACILITACIJA.....	28
4.3.1. UTJECAJ PNF ISTEZANJA NA JAKOST	30
4.3.2. UTJECAJ PNF ISTEZANJA NA MANIFESTACIJU SNAGE	31
4.4. UZROCI SMANJENJA MEHANIČKOG IZLAZA MIŠIĆA NAKON ISTEZANJA..	32
4.4.1. NEUROLOŠKI UZROCI	32
4.4.2. MEHANIČKI UZROCI	33
5. ZAKLJUČAK.....	34

6.	PRAKTIČNE PREPORUKE ZA PRIMJENU VJEŽBI ISTEZANJA.....	35
7.	LITERATURA.....	36

1. UVOD

U zadnje vrijeme dosta se polemika vodi o učincima različitih modaliteta vježbi istezanja na mehanički izlaz mišića u sklopu zagrijavanja prije aktivnosti. S obzirom da su statičko, dinamičko i PNF (proprioceptivna neuromuskularna facilitacija) istezanje najpopularnije vrste istezanja, one se nalaze u fokusu mnogih istraživanja vezana uz utjecaj na mehanički izlaz mišića, ponajprije na jakost i brzinu. Svaka od tih metoda ima svoje prednosti i nedostatke te različit utjecaj na mišićno-tetivni kompleks.

S aspekta sportaša i trenera, vrlo je bitno poznavati navedene metode, načine njihove primjene i njihov utjecaj na sportsku izvedbu kako bi se maksimizirale njihove dobrobiti odnosno minimizirali neželjeni efekti. Ovo je posebno važno u kontekstu činjenice da se posljednjih godina pojavljuje dosta mišljenja o negativnim učincima naročito statičkog istezanja na mehanički izlaz mišića. Sve se više sportaša i trenera okreće dinamičkom istezanju kao korisnijoj metodi u sklopu zagrijavanja radi sveobuhvatnog utjecaja dinamičkog istezanja na mišiće, tetive i zglobove.

Cilj rada je prikazati najnovija saznanja o učincima najčešćih modaliteta vježbi istezanja na mehanički izlaz mišića (jakost i brzinu) te definirati njihovu primjenu i doziranje neposredno prije sportske aktivnosti.

2. SKELETNI MIŠIĆ

Skeletni mišić je kontraktilno tkivo koje pokreće kostur, a sastoji se, u širem smislu, od mišićnih stanica, slojeva vezivnog tkiva (fascija), živaca i krvnih žila. Organizirani su tako da proizvode vrlo male i precizne, ali i velike i snažne pokrete. Rijetko djeluju samostalno već u sinergiji s drugim mišićima proizvodeći pokrete. Mišići se međusobno razlikuju po veličini, duljini, obliku, vrsti vlakana itd.

Mišićno tkivo ima tri specifične fizičke karakteristike:

1. prugasta/glatka tekstura
2. određeni smjer pružanja mišićnih vlakana
3. može biti u relaksiranom ili kontrahiranom stanju (Biel, 2005)

Mišići su podijeljeni u grupacije mišića koje su obavijeni fascijom, "plahtom" od fibroznog tkiva. Grupacije služe da bi se mišići podijelili u funkcionalne grupe (često su inervirani istim živcem i vrše slične pokrete). (Hamill i Knutzen, 2009) Primjerice, natkoljenica je podijeljena u 3 grupacije: prednja strana (kvadriceps), stražnja strana (hamstrings) i unutarnja strana (aduktori). Prilikom istezanja često istežemo grupacije mišića jer je gotovo nemoguće izdvojiti samo jedan mišić kojeg bi istežali.

S obzirom na vrstu vlakana, njih dijelimo na spora (tip I) i brza (tip II). Spora vlakna su bogata mioglobinom i prilagođena su za dugi rad niskog intenziteta. Brza vlakna se dijele na Tip IIa i Tip IIb i prilagođena su za kratki rad visokog intenziteta. (Hamill i Knutzen, 2009)

Mišićnu stanicu, često zvanu i mišićno vlakno, čine dugačke cilindrične stanice promjera 50 do 100 mikrometara obavijene epimizijom, jednom od 3 opne koje obavijaju mišić i mišićne strukture. Epimizij je opna koja obavija mišić i nastavlja se na tetivu, a ona na koštani periosteum, posebno vezivno tkivo koje obavija kosti. Bilo koja kontrakcija mišića povlači tetivu i posljedično kost te se dva segmenta tijela međusobno približuju te nastaje pokret. Ispod epimizija, mišićne stanice se skupljaju u snopove mišićnih vlakana (fascikule) koje mogu sadržavati do 150 vlakana. Svaki snop mišićnih vlakana je obavijen opnom, perimizijom, dok je svako vlakno obavijeno endomizijom koji se nastavlja u sarkolemu, membranu mišićnog vlakna. (Hunter i Harris, 2008) Obzirom da je vezivno tkivo povezano s mišićem, možemo zaključiti da se napetost u mišićima očituje u tetivama i kostima.

SVOJSTVA MIŠIĆA

- 1) EKSCITABILNOST - podražljivost kao odgovor na živčanu stimulaciju
- 2) KONTRAKTILNOST - sposobnost skraćivanja
- 3) KONDUKTIVNOST - sposobnost provodljivosti električnog signala
- 4) EKSTENZIBILNOST - sposobnost izduživanja ili istezanja
- 5) VISKOELASTIČNOST - sposobnost vraćanja u početno stanje nakon promjene veličine/oblika istezanjem ili skraćivanjem
- 6) PLASTIČNOST - sposobnost rasta i regeneracije (Mikulić i Marković, 2015.)

FUNKCIJE SKELETNIH MIŠIĆA

- proizvode pokrete
- održavaju stav/posturu
- podupiru meka tkiva (organe)
- stabiliziraju zglobove
- štite tjelesne otvore, visceralne organe
- proizvode toplinu – 25% mehanički rad, 75% topline (Hamill i Knutzen, 2009)

2.1. GRAĐA SKELETNOG MIŠIĆA

2.1.1. MIOFIBRILI: AKTIN I MIOZIN

Svako mišićno vlakno sastoji se od nekoliko stotina do nekoliko tisuća miofibrila promjera 1-2 mikrometara. Glavno svojstvo miofibrila je svojstvo skraćivanja odnosno kontraktilnosti. Svaki miofibril se sastoji od otprilike 1500 miozinskih filamenata i otprilike 3000 aktinskih filamenata. Po građi su one velike polimerizirane proteinske molekule koje imaju ulogu pri mišićnoj kontrakciji. U prikazima ovih elemenata, miozin je prikazan kao deblji, a aktin kao tanji filament.

Miozin se sastoji od 2 teška lanca koja se međusobno isprepliću tvoreći dvostruku zavojnicu koja se zove rep. Svaki od ta 2 lanca se razdvajaju bilateralno i zajedno s lakim lancima (po 2 sa svakim teškim lancem) tvore miozinsku glavu. Uloga lakih lanaca je da pomažu u kontroli miozinske glave prilikom kontrakcije. Repovi se međusobno spajaju čineći tijelo iz koje izlaze ruke koje povezuju tijelo i glavu miozina. Ruke i glava zajedno čine mali izdanak - poprečni most.

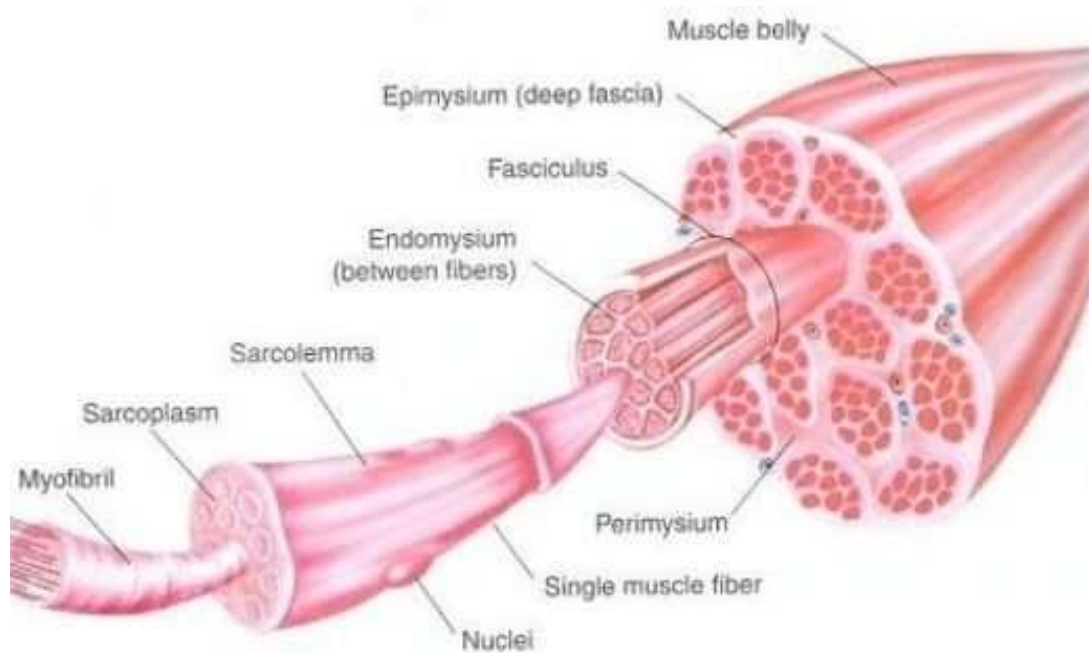
Aktin je, kao i miozin, kompleksan. Sastoji se od 3 proteinske komponente: aktina, tropomiozina i troponina. Aktin se kao i miozin isprepliće tvoreći dvostruku zavojnicu. Na aktinu se nalaze aktivna mjesta na koja se spajaju glave miozina prilikom mišićne kontrakcije. Tropomiozin spiralno obuhvaća aktin. U mirovanju tropomiozin leži na tim aktivnim mjestima te tada kontrakcija nije moguća. Posljednja komponenta aktina je troponin koji se naizmjenično nalazi na stranama tropomiozina. Njegova uloga je da međusobno privlači aktin i tropomiozin. Aktin se na svom kraju spaja na Z-ploču. Od Z-ploče, aktin se širi u oba smjera te se isprepliće sa miozinom. Z-ploča, koja se sastoji od

proteina drugačijeg od aktina i miozina, prolazi okomita na miofibril, te okomita na sve miofibrile povezujući ih kroz cijelo mišićno vlakno. U prikazima, svijetle pruge sadrže aktin, tamne pruge miozin. Posljedično, cijelo mišićno vlakno ima crne i bijele pruge, kao što imaju i pojedinačni miofibrili. To skeletnom i srčanom mišiću daje preoznatljiv prugasti izgled. Dio miofibrila koji se nalazi između dviju Z-ploča se naziva sarkomera. (Guyton i Hall, 2006; Fung, 1993) Ova struktura je zapravo kontraktilna jedinica mišića koja razvija napetost. Postavljene su u nizu duž mišićnog vlakna poput karika u lancu. (Hamill i Knutzen, 2009) Kada je mišićno vlakno relaksirano duljina sarkomere je između 2 (Hunter i Harris, 2008) i 2.5 mikrometara (Fung, 1993). Na toj je udaljenosti mišić sposoban generirati najveću silu kontrakcije. Međusobnim djelovanjem poprečnih mostova i aktinskih niti nastaje mišićna kontrakcija.

Osim aktina i miozina bitnu ulogu u građi mišića ima i protein titin, koji ima mnogobrojne uloge od kojih su najbitnije da održava aktin i miozin u međusobnom odnosu, tj. da ih održi na okupu, te omogućava sarkomeri da se vrati u početni položaj nakon istezanja. (Alter, 2004) To omogućava normalno kretanje miozina i aktina, te posljedično kontrakciju mišića.

2.1.2. SARKOPLAZMA

Prostor između miofibrila je ispunjen unutarstaničnom tekućinom, sarkoplazmom, koja sadrži veliku količinu kalija, magnezija i fosfata te mnogobrojnih proteinskih enzima, glikogena te čestica masti. (Hunter i Harris, 2008) Također, tu se nalazi velik broj mitohondrija koji opskrbljuju miofibrile ATP-om koji sadrže velike količine energije nužne za mišićnu kontrakciju. Veoma bitnu ulogu za rad mišića ima i sarkoplazmatski retikulum koji se također nalazi u sarkoplazmi. Obavijajući fibrile, njegove cjevčice sadrže velike koncentracije kalcijevih iona, koji se ispuštaju u sarkoplazmu kada pristigne akcijski potencijal za mišićnu kontrakciju. (Guyton i Hall, 2006)



Slika 1. Građa skeletnog mišića (Izvor: *NSCA Essentials of Strength Training and Conditioning*)

Objašnjenje pojmova: muscle belly = trbuh mišića; epimysium = epimizij; fasciculus = snop mišićnih vlakana; endomysium = endomizij; perimysium = perimizij; single muscle fiber = pojedinačno mišićno vlakno; sarcolemma = sarkolema; nuclei = jezgre; sarcoplasm = sarkoplazma; myofibril = miofibril.

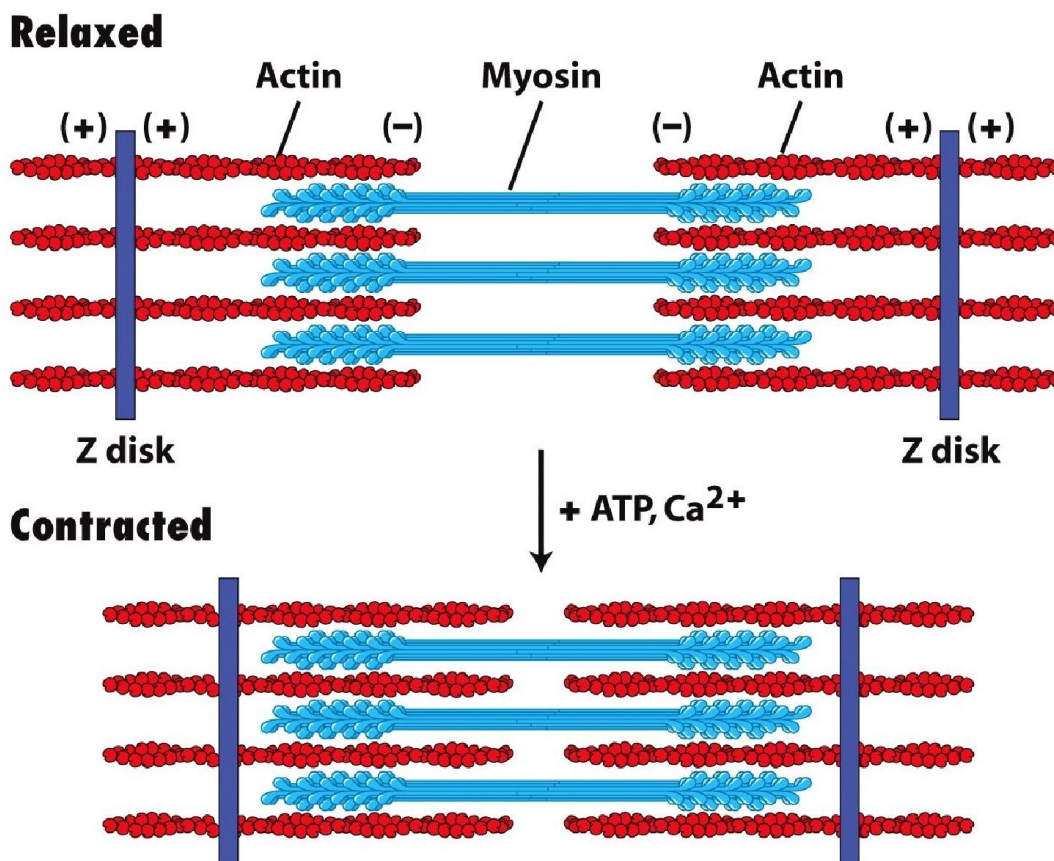
2.1.3. MOTORIČKA JEDINICA

U sklopu građe mišića treba spomenuti i spoj između motoričkog neurona (živčana stanica) i mišićnog vlakna koje on inervira, a koje se naziva neuromišićna spojnica. Svaka mišićna stanica ima samo jednu neuromišićnu spojnicu, iako jedan motorički neuron može inervirati od jedne pa do čak nekoliko stotina mišićnih vlakana. Motorički neuron i sva mišićna vlakna koje on inervira se naziva motorička jedinica. Sva mišićna vlakna motoričke jedinice kontrahiraju se zajedno kada su stimulirani od strane motoričkog neurona. (Hunter i Harris, 2008)

2.2. MEHANIZAM MIŠIĆNE KONTRAKCIJE

U relaksiranom stanju, krajevi aktinskih filamenata se protežu između dviju Z-ploča jedva se preklapajući. U kontrahiranom stanju, ti aktinski filament se povlače prema sredini među miozinske filamente. Također, Z-ploče su povučene od strane aktinskih filamenata do krajeva miozinskih filamenata te se događa mišićna kontrakcija mehanizmom klizajućih filamenata (eng. *sliding filament mechanism*). To je uzrokovano silama generiranim međuosobnim odnosom poprečnih mostova na miozinskim filamentima sa aktinom. Ovaj mehanizam objašnjava kako sarkomere u miofibrilu proizvode mišićnu kontrakciju. Važno je i napomenuti mehanizam poprečnih mostova (eng. *cross-bridge mechanism*), kao nadogradnju na mehanizam klizajućih filamenata, koji kaže da se mišić skraćuje kada se formiraju poprečni mostovi koji nastaju kada se debele miozinske niti zakvače za tanke aktinske niti spojene na Z-ploču s obje strane sarkomere.

Sama mišićna kontrakcija inicirana je električnim impulsom koji se putem odgovarajućeg živca prenosi na mišićna vlakna koja su inervirana tim živcem putem živčano-mišićnog spoja. Završetak živčanog vlakna izlučuje neuroprijenosnik acetilkolin koji uzrokuje naglu promjenu električnog potencijala u mišiću. Akcijski potencijal koji se širi mišićnim vlaknom uzrokuje depolarizaciju mišićne membrane i dolazi do središta mišićnog vlakna. Ovdje akcijski potencijal uzrokuje ispuštanje velike količine kalcijevih iona iz sarkoplazmatskog retikuluma što je od presudnog značaja za cijeli proces. Kalcijevi ioni oslobađaju aktivna mjesta na aktinu, čime omogućavaju da se poprečne glave miozina zakvače za netom oslobođena aktivna mjesta te iniciraju privlačne sile između aktina i miozina. Putem poprečnih mostova svaka miozinska nit povlači aktinsku nit prema svom središtu, stvarajući ciklus poprečnih mostova. To na kraju omogućuje klizanje aktina i miozina usporedno jedno s drugim. (Guyton i Hall, 2006; Mikulić i Marković, 2015)



Slika 2. Mehanizam mišićne kontrakcije (Izvor: www.bio.miami.edu)

Objašnjenje pojmova: relaxed = opušteno stanje; actin = aktin; myosin = miozin; Z disk = Z-ploča; contracted = skraćeno stanje.

2.3. VEZIVNO TKIVO I TETIVE

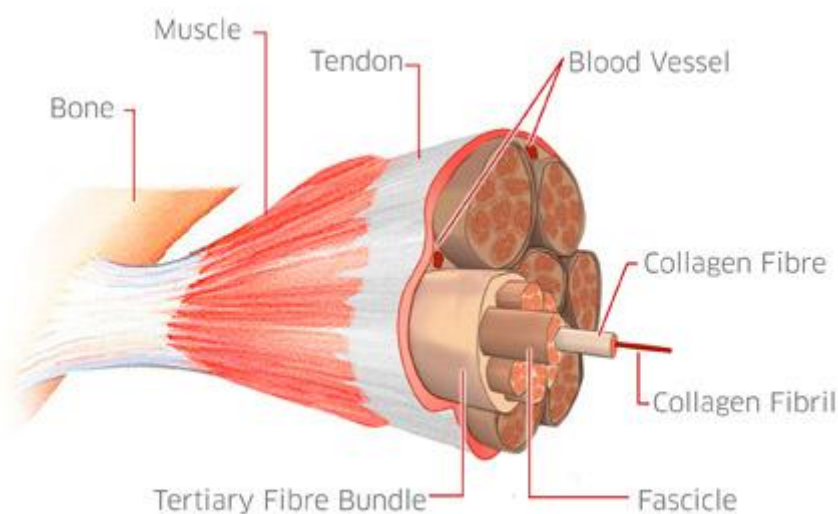
Tetive, ligamenti, fascije i hrskavice su kompleksne i dinamičke strukture koje povezuju mišiće i kosti. Osnovna građevna jedinica svog vezivnog tkiva u tijelu je kolagen (Tip I se nalazi u koži, kostima, tetivama i ligamentima; Tip II u hrskavicama). Kolagen nastaje iz prokolagena (roditeljske stanice) te enzima. Spajanje prokolagena i enzima rezultira formacijom molekula aktivnog kolagena koje se međusobno spajaju te tako tvore dugačke filamente. Daljnjim spajanjem tih filamenata nastaju mikrofibrili koji se dalje skupljaju u vlakna te u velike snopove koje čine vezivno tkivo. (Alter, 2004)

ULOGE VEZIVNOG TKIVA

- obuhvaćaju i razdvajaju tkiva
- spajaju tkiva različite vrste
- pružaju potporu i pokret
- skladište energiju
- transportiraju
- štite ostala tkiva (Clark i Lucett, 2010)

Tetive su čvrste strukture koje spajaju mišiće i kosti. Tetive se spajaju na kost, odnosno periosteum, te omogućavaju maksimalni prijenos sila iz mišića na kost. (Fung, 1993) Poznato je da su tetive tkiva velike otpornosti na vanjska opterećenja. Ta snaga kolagena dolazi iz snažnih kemijskih veza među molekulama kolagena unutar vlakana i snopova. Kolagenski snopovi mogu biti skupljeni longitudinalno formirajući tetive i ligamente ili postavljeni u slojeve usmjereni u svim smjerovima formirajući kosti, hrskavice i fascije. (Curwin, 2005) Razlika u građi između tetiva i ligamenta je u tome što ligamenti, uz manju količinu kolagena, sadrže i malo veću količinu elastina koji omogućava malo više elasticiteta.

Tetiva se spaja na mišić na mišićno-tetivnoj spojnici, gdje se mišićne stanice isprepliću s kolagenskim stanicama tetive. Tetive i mišići rade zajedno kako bi apsorbirali ili generirali napetost. (Hamill i Knutzen, 2009) Za razliku od mišićnog tkiva, metabolizam tetiva je mnogo sporiji zbog slabije vaskularnosti i cirkulacije. To je, primjerice, jedan od razloga zašto se tetive sporije oporavljaju od ozljeda nego skeletni mišići. (Hunter i Harris, 2008)



Slika 3. Građa tetive (Izvor: www.tendonstudy.com)

Objašnjenje pojmova: bone = kost; muscle = mišić; tendon = tetiva; blood vessel = krvna žila; tertiary fibre bundle = tercijarni snop vlakana; fascicle = snop tetivnih vlakana; collagen fibre = kolagensko vlakno; collagen fibril = kolagenski fibril.

3. OSJETNI RECEPTORI ZNAČAJNI ZA MIŠIĆNU FUNKCIJU

Osjetni receptori imaju ključnu ulogu u doživljavanju i percipiranju okoline. Između ostalog, određuju i način na koji ćemo se kretati i izvoditi raznorazne pokrete, bilo tijekom svakodnevnih bilo tijekom sportskih aktivnosti.

S obzirom na smještaj dijele se na:

- eksteroreceptore – primaju vanjske podražaje (sluh, njuh, vid)
- proprioceptore – primaju podražaje iz skeletnih mišića, tetiva i zglobova
- interoceptori – primaju podražaje iz visceralnih organa i prate njihovu funkciju

Odgovarajuća kontrola mišićne funkcije zahtjeva, osim podražljivosti mišića od strane prednjih motoričkih neurona leđne moždine, i konstantne povratne osjetne informacije od strane mišića prema leđnoj moždini u svakom trenutku, primjerice koja je duljina mišića, kolika je napetost, kako brzo se mijenja duljina i/ili napetost...(Guyton i Hall, 2006) Tu ulogu imaju proprioceptori, specijalizirani osjetni receptori smješteni u zglobovima, tetivama i mišićima. (Hunter i Harris, 2008)

Dva ključna osjetna receptora koja to omogućavaju su mišićno vreteno i Golgijev tetivni organ. Oni mijenjaju i kontroliraju mnoge aspekte mišićnog ponašanja te u potpunosti djeluju na nesvjesnoj razini. (McMahon, 1984) Prenose informacije ne samo do leđne moždine već i do malog mozga te kore velikog mozga (Guyton i Hall, 2006) pomažući tako u daljnjem programiranju i reprogramiranju motoričkih aktivnosti. Za prijenos osjetnih informacija iz tih receptora do leđne moždine zaslužna su aferentna vlakna. Ona su podijeljena u dvije grupe: primarni završeci (vlakna Ia i Ib) te sekundarni završeci (vlakna II). Vlakna Ia i II prenose informacije iz mišićnog vretena dok vlakna Ib prenose informacije iz Golgijevog tetivnog organa. (McMahon, 1984)

3.1. MIŠIĆNO VRETENO

Svako mišićno vreteno dugačko je od 3 do 10 milimetara. Građeno je od 3 do 12 jako malih intrafuzalnih mišićnih vlakana koji se nalaze na velikim ektrafuzalnim mišićnim vlaknima. Mali mišići zaduženi za finu motoriku imaju velik broj mišićnih vretena (mišići oka), dok veliki mišići imaju relativno mali broj vretena (kvadriceps, soleus). (McMahon, 1984) Možemo ga podijeliti u dva dijela: centralni i periferni dio. Centralni dio ne sadrži aktinska i miozinska vlakna te u tom dijelu ne može doći do kontrakcije, za razliku od krajeva koji se mogu kontrahirati. Umjesto toga, centralni dio djeluje kao osjetni receptor. Krajevi intrafuzalnog vlakna inervirani su malim gama motoričkim vlaknima koji polaze iz prednjeg roga kralješnične moždine (dok za razliku od njih, alfa motorička vlakna inerviraju ektrafuzalna mišićna vlakna). Postoje dvije vrste intrafuzalnog mišićnog vlakna: jezgrena vreća (veća i duža) i jezgreni lanac (manja i kraća). Ranije spomenuti primarni završeci su podraženi i od strane jezgrene vreće te jezgrenog lanca, dok su sekundarni završeci podraženi isključivo od strane jezgrenog lanca. (Alter, 2004)

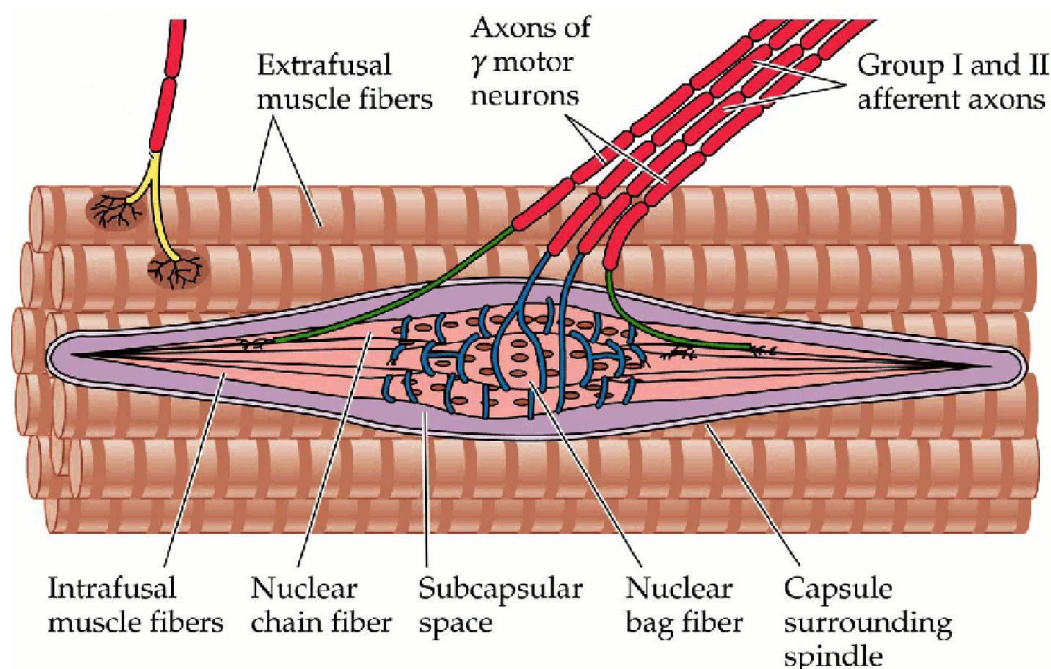
Mišićno vreteno može biti podraženo na dva načina:

1. Izduživanje cijelog mišića izdužuje i središnji dio mišićnog vretena, i tako posljedično podražuje receptore
2. Iako se duljina mišića ne mijenja, kontrakcije na krajevima intrafuzalnih vlakana podražuju receptore koji se nalaze u središnjem dijelu mišićnog vretena

Istezanje mišićnog vretena povećava učestalost uključivanja, dok skraćivanje vretena smanjuje učestalost uključivanja. Iz tog razloga, mišićno vreteno može slati leđnoj moždini ili pozitivne signale (povećani broj impulsa koji pokazuju istezanje mišića) ili negativne signale (smanjeni broj impulsa koji pokazuju da je mišić neistegnut). (Guyton i Hall, 2006) Također, bitno je spomenuti i mehanizam alfa-gama koaktivacije (gama motoneuroni su aktivirani istodobno s alfa motoneuronima). Ukoliko je mišić skraćen bez alfa-gama koaktivacije, aktivnost vretena bi bila inhibirana. Alfa-gama koaktivacija održava vreteno zategnuto i omogućava da kontinuirano pruža informacije o položaju i duljini mišića. (Latash, 2012)

Uloga mišićnog vretena

Osnovna uloga mišićnog vretena je da pruža informacije o duljini mišića i promjeni duljine mišića. (Hunter i Harris, 2008) Uz to, još jedna bitna i manje poznata uloga je da stabilizira poziciju tijela tijekom napete/zahtjevne motoričke akcije. Kada su vretena skeletnih mišića sa obje strane zgloba aktivna u isto vrijeme, refleksna podražljivost tih mišića se također povećava uzrokujući povećanje napetosti u mišićima što za posljedicu ima povećanje stabilnosti zgloba. To znači da se svakoj sili koja pokušava pomaknuti zglob iz trenutne pozicije suprotstavljaju refleksi na istezanje u mišićima sa obje strane zgloba. (Guyton i Hall, 2006)



Slika 4. Mišićno vreteno (Izvor: <http://drknight-kinesiology.blogspot.hr>)

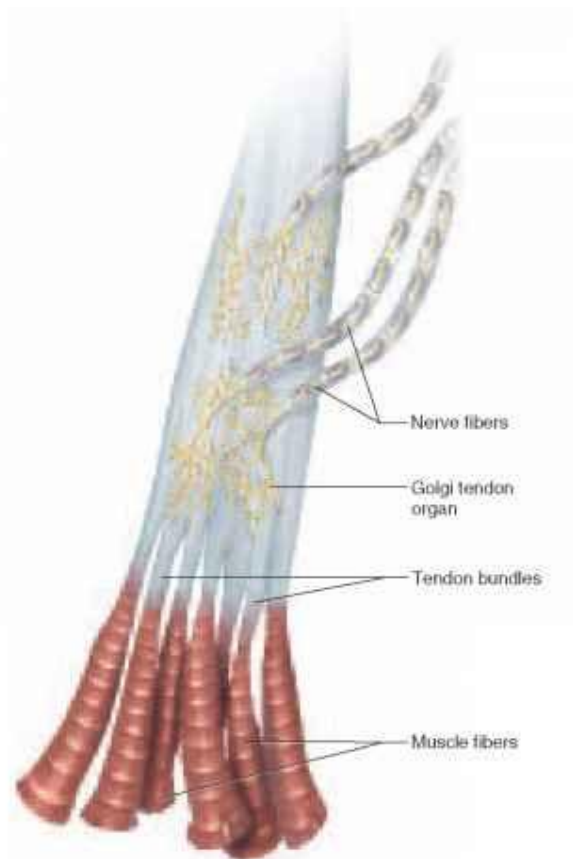
Objašnjenje pojmova: extrafusal muscle fibers = ektrafuzalna mišićna vlakna; intrafusal muscle fibers = intrafuzalna mišićna vlakna; axons of γ motor neurons = aksoni gama motoričkih neurona; group I and II afferent axons = skupina vlakana I i II aferentnih aksona; nuclear chain fibre = vlakno jezgrenog lanca; subcapsular space = ispodkapsularni prostor; nuclear bag fiber = vlakno jezgrene vreće; capsule surrounding spindle = kapsula koja okružuje vreteno.

3.2. GOLGIJEV TETIVNI ORGAN

Golgijev tetivni organ je senzorni receptor kroz koji prolaze vlakna mišićne tetive (nalazi se na prijelazu mišića u tetivu – mišićno-tetivnoj spojnici). Otprilike 10 do 15 mišićnih vlakana je spojeno na Golgijev tetivni organ. U mnogim mišićima se nalazi otprilike polovina ili čak trećina ovih struktura u odnosu na mišićna vretena. (McMahon, 1984) On je stimuliran kada je taj mali snop mišićnih vlakana napet bilo zbog kontrakcije ili istezanja mišića. Za razliku od mišićnog vretena koji pruža informacije o duljini mišića i promjeni duljine mišića, Golgijev tetivni organ detektira mišićnu napetost. Kao i mišićno vreteno, Golgijev tetivni organ ima statičku i dinamičku komponentu. Kada se napetost mišića naglo poveća, javlja se dinamički odgovor koji traje nekoliko djelića sekunde. Nakon toga se javlja statički odgovor koji karakterizira smanjenje napetosti koje je skoro proporcionalno uobičajenoj mišićnoj napetosti. Osjetne informacije iz GTO se prenose Ib vlaknima do dorzalnog roga leđne moždine i dalje do malog mozga i kore velikog mozga. (Guyton i Hall, 2006)

Uloga Golgijevog tetivnog organa

Osim ranije navedene uloge da detektira razinu mišićne napetosti, GTO ima još jednu bitnu ulogu a to je da aktivira mehanizam autogene inhibicije koja ima zaštitnu funkciju. Npr., ukoliko sila mišićne kontrakcije potpomognuta nekom vanjskom silom dostigne razinu prilikom koje je moguće pojavljivanje oštećenja mišićo-tetivne spojnice, GTO „gasi“ kontrakciju agonista i stimulira kontrakciju antagonista. Ova funkcija ima ulogu u redukciji ozljeda mišića, tetiva, ligamenata i zglobova. (Alter, 2004)



Slika 5. Golgijev tetivni organ (Izvor: www.rnursingschool.biz)

Objašnjenje pojmova: nerve fibers = živčana vlakna; Golgi tendon organ = Golgijev tetivni organ; tendon bundles = tetivni snopovi; muscle fibers = mišićna vlakna.

4. VJEŽBE ISTEZANJA

Sportaši i rekreativci tradicionalno uključuju vježbe istezanja u sklopu zagrijavanja prije aktivnosti kako bi poboljšali izvedbu i smanjili rizik od ozljeđivanja. Smith (1994) smatra da bi zagrijavanje trebalo biti specifično sportu/aktivnosti koje će se obavljati. Vježbe trebaju poboljšati fleksibilnost i popustljivost, navesti mišićno-koštani sustav da poveća tjelesnu temperaturu, ugrije mišiće, tetive i vezivno tkivo te ih pripremi na rad. Zagrijavanje bi također trebalo stimulirati krvožilni sustav, poboljšati koordinaciju i omogućiti slobodniji i lakši pokret zbog popustljivijeg lokomotornog sustava. Osim toga, povećava se frekvencija srca i disanja. To za posljedicu ima povećanje cirkulacije, što omogućava veći i brži dotok kisika i nutrijenata prema mišićima.

Istezanje je proces postavljanja dijela tijela u položaj koji će izdužiti mišiće i okolna meka tkiva. (Walker, 2013) Istezanje je važan modalitet za povećanje opsega pokreta zglobova u terapijskom pogledu, ali i kao dio treninga. (Knudson, 2006). Važno je napomenuti da svi modaliteti istezanja povećavaju opseg. (Behm i sur., 2016) Osim toga, istezanje i fleksibilnost nam omogućavaju obavljanje različitih svakodnevnih aktivnosti koje uključuju pokrete fleksije, ekstenzije i rotacije. (Birch i sur., 2005) Istezanje prije aktivnosti osigurava da pojedinac ima odgovarajući opseg pokreta u zglobovima kako bi optimalno izvodio nadolazeće aktivnosti te da se smanji krutost mišića ili povećava rastezljivost mišića te teoretski smanji mogućnost ozljede. (McHugh i Cosgrave, 2010)

Bitno je napomenuti da se mišićna vlakna mogu izdužiti ili istegnuti samo ako na njih djeluje neka vanjska sila poput gravitacije, sila antagonističkih mišića ili sila koju pruža druga osoba odnosno neki drugi dio vlastitog tijela. (Alter, 2004)

Za početak je potrebno objasniti tri pojma koja se često miješaju jedan s drugim, a to su: opseg pokreta, mobilnost i fleksibilnost. Dakle, opseg pokreta predstavlja stupanj pokretljivosti u pojedinom zglobu. Mobilnost definiramo kao najveći opseg pokreta koji pojedinac može postići u pojedinom zglobu odnosno sposobnost postizanja željenog pokreta ili pozicije u specifičnim uvjetima. Fleksibilnost je normalna ekstenzibilnost svih tjelesnih tkiva koje omogućava najveći opseg pokreta u pojedinom zglobu i optimalnu neuromuskularnu efikasnost tijekom svih funkcionalnih pokreta. (Clark i Lucett, 2010) Pod pojmom tjelesna tkiva podrazumijevaju se mišići, fascije, tetive, ligamenti, periferni živci, koža.

Postoje dvije vrste fleksibilnosti: statička i dinamička fleksibilnost. Statička fleksibilnost se može definirati kao mogući opseg pokreta oko zgloba i okolnih mišića tijekom pasivnih, nevoljnih pokreta, odnosno neka vanjska sila poput gravitacije, partnera ili sprave omogućava istezanje. Dinamička fleksibilnost se odnosi na mogući opseg pokreta tijekom aktivnih pokreta te zahtjeva voljnu aktivaciju mišića. (Hunter i Harris, 2008; Appleton, 1998)

U mnogim sportovima, fleksibilnost je ključan faktor uspjeha, primjerice u gimnastici, skokovima u vodu, estetskom klizanju i dr. U drugim sportovima nužno je imati odgovarajuću razinu fleksibilnosti kako bi se smanjio stres na meka tkiva i eventualno smanjio rizik od ozljeđivanja. (Birch i sur., 2005)

Čimbenici koji utječu na mobilnost se dijele na intrinzične odnosno unutarnje te ekstrinzične odnosno vanjske.

Intrizični čimbenici su:

- vrsta zgloba
- unutrašnji otpor zgloba (trenje)
- koštane strukture koji limitiraju pokret
- elastičnost mišićnog tkiva (ozljede)
- elastičnost tetiva i ligamenata
- elastičnost kože
- sposobnost mišića da se relaksira i kontrahira
- temperatura zgloba i okolnih struktura (Appleton, 1998; Hunter i Harris, 2008)

Ekstrizični čimbenici su:

- temperatura okoline
- doba dana
- faza oporavka
- dob
- spol
- znanje izvođenja pojedine vježbe
- ustrajnost pojedinca
- odjeća i oprema (Appleton, 1998; Hunter i Harris, 2008)

Postoje četiri osnovne vrste istezanja:

- 1) statičko
- 2) dinamičko
- 3) balističko
- 4) proprioceptivna neuromuskularna facilitacija (PNF) (Nelson i Kokkonen, 2007)

Napetost koja se javlja u skeletnim mišićima može biti podijeljena na aktivnu i pasivnu. Aktivna napetost predstavlja kontraktilne efekte ili silu generiranu interakcijom aktina i miozina. Pasivna napetost proizlazi iz komponenti vezivnog tkiva skeletnih mišića kada su izduženi iznad duljine u mirovanju. Važno nam je razumijeti značaj ova dva pojma jer su sila i moment sile oko pojedine osi zgloba rezultat pasivne i aktivne napetosti mišića. (Knudson 2006, 2007)

Kada je mišić ili grupa mišića istegnuta, koristeći se nekom od tehnika (npr. statičkim, dinamičkim, PNF...), dolazi do kratkotrajnih promjena u mišiću. To su akutni ili kratkotrajni efekti istezanja na mišić/mišiće koji se odnose na inicijalne promjene tijekom prvih nekoliko sati nakon istezanja. Neke varijable poput opsega pokreta se povećavaju nakon

istezanja, dok se neke ne mijenjaju (krutost). S druge strane postoje i varijable koje se mogu smanjivati (jakost, snaga, brzina...). (Knudson 2006, 2007) Važan faktor koji utječe na akutne efekte istezanja je taj da pasivna napetost ovisi o brzini istezanja. Što je veća brzina istezanja to će krutost mišića biti veća. Krutost predstavlja mjeru elasticiteta materijala, u ovom slučaju mišića. S druge strane, jedna od karakteristika mekih tkiva ima drugačiji odgovor, a to je viskoelastičnost. Sporo istezanje će stvoriti manju pasivnu napetost od brzog što će omogućiti veće istezanje. To je primarni razlog zašto se sporo, statičko istezanje preferira u odnosu na balističke tehnike istezanja. (Knudson 2006, 2007)

Poznato je da različiti sportovi zahtijevaju različite stupnjeve rastezljivosti mišićno-tetivne jedinice. Također, poznato je da se mišiću, ukoliko je istegnut neposredno prije skraćivanja, povećava izvedba tijekom koncentrične faze. Taj ciklus istezanja i skraćivanja je karakterističan za sportove pilometrijskog karaktera, odnosno za one sportove koje sadrže aktivnosti poput skokova i/ili bacanja. Mišićno-tetivna jedinica može pohraniti mehanički rad u obliku elastične energije tijekom ekscentričnih kontrakcija. S obzirom da se energija prvo pohranjuje i zatim iskorištava kao elastična energija tijekom ciklusa istezanja i skraćivanja, taj mehanizam se naziva „mehanizam očuvanja energije“ (Witvrouw i sur., 2004)

Ukoliko mišić ima manju razinu rastezljivosti mišićno-tetivne jedinice, više rada je direktno pretvoreno u vanjski rad. Što je ta struktura rastezljivija, povećava se doprinos elastične enegije i samim time se povećava izvedba prilikom različitih pokreta koje sadrže ciklus istezanja i skraćivanja. (Wilson i sur., 1992) S druge strane, sportove poput biciklizma, plivanja, hrvanja i boksa karakterizira brzo generiranje sile u izometričkim i koncentričnim mišićnm kontrakcijama. U tim sportovima poželjno je imati veću krutost mišićno-tetivne jedinice jer ona omogućava brži prijenos sile na kosti i samim time rezultira bržim pokretima zglobova. (Witvrouw i sur., 2004)

Iz tih razloga bitno je poznavati karakteristike sporta/aktivnosti kojim se osoba bavi jer to utječe na izbor i trajanje modaliteta istezanja prilikom zagrijavanja za pojedinačni trening ali i kroz duži vremenski period.

4.1. STATIČKO ISTEZANJE

Statičko istezanje karakterizira zadržavanje određenog položaja duži vremenski period, koji uključuje opuštanje i istovremeno izduženje mišića/mišićne grupe. Zato što se izvodi sporo, ne izaziva se refleks na istezanje u istegnutom mišiću. (Jeffreys, 2008; Alter, 2004) Prednost statičkog istezanja je u tome što je jednostavno, može se izvoditi samostalno i lako ga je naučiti te je odlično sredstvo za povećanje opsega pokreta. Iako se ozljede mišića i vezivnog tkiva mogu dogoditi ukoliko je istezanje preintenzivno, pravih nedostataka statičkog istezanja nema sve dok se vježbe tehnički ispravno izvode. (Jeffreys, 2008) Uz to, statičko istezanje smanjuje učestalost mišićnih istegnuća. (McHugh i Cosgrave, 2010)

Problem sa statičkim istezanjem jest da promiče prekomjernu fleksibilnost, nešto što sportaši ne bi trebali zahtijevati prije treninga i natjecanja, osim u sportovima koji to zahtijevaju (npr. estetski sportovi). Radije bi trebali stvoriti niskoviskoznu rastezljivost u granicama normalnog opsega pokreta koji sportaš posjeduje. Rastezljivost se, u ovom slučaju, odnosi na sposobnost sportaša da sigurno koristi prirodni opseg pokreta u različitim brzinama i momentima sile koje zahtjeva pojedini sport. Povećanje fleksibilnosti prije treninga može doprinijeti laksičnosti zglobova ili prekomjernom povećanju opsega pokreta u kojemu sportaš nije jak i stabilan. (Falsone, 2014) Ako postoji potreba za povećanjem opsega pokreta, statičko istezanje se preporučuje koristiti nakon provedenog treninga ili kao zaseban trening u svrhu dugotrajnijeg poboljšanja pokretljivosti.

Mišić i tetiva imaju viskozna i elastična mehanička svojstva. (Magnusson, 1998; Taylor i sur., 1990; Fung, 1993) Statičko istezanje smanjuje viskoznost, a povećava elastičnost tkiva. To za posljedicu ima manji moment sile te smanjenje brzine razvoja sile i odgađanje mišićne reakcije. (Kubo i sur., 2001) Smanjenje brzine razvoja sile te odgađanje mišićne reakcije smanjuje mehanički izlaz mišića, odnosno mišić je sposoban generirati manju silu. (Falsone, 2014) To su razlozi zbog kojih bi trebalo izbjegavati statičko istezanje kao samostalnu aktivnost u sklopu zagrijavanja prije sportske aktivnosti.

Najveći utjecaj statičkog istezanja je na fleksibilnost te su rezultati istraživanja vrlo jasni. Istezanje povećava opseg pokreta te se učinci mogu zadržati od 60 do 90 minuta. (Moeller, 1985) Pojava tolerancije na istezanje ima veliki utjecaj u akutnom povećanju fleksibilnosti. (Magnusson, 1998) Još jedan faktor je taj da istezanje utječe na smanjivanje pasivne napetosti u mišiću na određenoj duljini. To smanjivanje pasivne napetosti možemo pripisati stres relaksaciji. Stres relaksacija je smanjivanje stresa na materijal koji

je izdužen i držan na konstantnoj duljini. (McHugh i sur., 1992; Knudson, 2007; Taylor i sur., 1990; Fung, 1993; Alter, 2004) Iako to pozitivno utječe na smanjivanje napetosti u mišiću i povećanje fleksibilnosti, ujedno inhibira mišić što će rezultirati smanjenom izvedbom. Također, ponavljana istezanja pod određenim zglobnim kutom će rezultirati manjim otporom tijekom tih ponavljanih istezanja. (Enoka, 2008) Poželjno je zadržavati istezanje minimalno 20 do 30 sekundi zato jer se većina stres relaksacije događa u prvih 20 sekundi istezanja. (McNair i sur., 2000)

4.1.1. UTJECAJ VJEŽBI STATIČKOG ISTEZANJA NA JAKOST

Shrier (2004) je obradio 23 studije o akutnim i 9 studija o kroničnim učincima istezanja na jakost i brzinu. Navodi da se uglavnom koristilo statičko istezanje u tim studijama. Od 23 studije o akutnim učincima, nije bilo pozitivnih studija, čak 20 ih je prikazalo negativne rezultate dok su 3 studije pokazivale dvosmislene rezultate. Učinci su se odnosili na maksimalnu voljnu kontrakciju, jakost te na izvedbu skokova. Shrier zaključuje da statičko istezanje smanjuje proizvodnju sile i brzinu mišićne kontrakcije.

Šimić i sur. (2013) su obradili puno više studija, njih 104 (61 se odnosi na snagu, 12 na jakost te 57 na eksplozivnu izvedbu). Statičko istezanje ima negativan utjecaj na snagu, odnosno smanjuje snagu za 5.4%. Također, važnu ulogu u smanjenju ima i vrsta mišićne kontrakcije. Ako usporedimo statičke i dinamičke testove, možemo uočiti razliku u smanjenju negativnih učinaka statičkog istezanja kod dinamičkih testova (-3.9% dinamički testovi, -6,5% statički testovi) Autori prikazuju i utjecaj istezanja s obzirom na trajanje. Tu vidimo razliku u smanjenju snage s obzirom na kraće trajanje istezanja (<45s) koje iznosi 3,2% u odnosu na dulje trajanje istezanja (>90s) koje iznosi 6,1%. Što se tiče jakosti, negativan utjecaj istezanje je nešto manji i iznosi -1,9%. Međutim, ako pogledamo promjene s obzirom na trajanje možemo uočiti da se jakost povećava za 0,4% nakon istezanja kraćeg trajanja (<45s), dok se smanjuje nakon duljeg istezanja (>90s) za 3,3%.

Kay i Blazevich (2012) su obradili 106 studija iz kojih su izdvojili 149 pronalazaka vezanih uz maksimalnu snagu, jakost i brzinu. Navode da samo 44% pronalazaka prikazuju značajno smanjenje snage, jakosti i brzine nakon statičkog istezanja. S obzirom na trajanje, istezanje <30 sekundi ne uzrokuje značajno smanjenje u mišićnoj izvedbi (-1,1%). Istraživanje pokazuje da trajanje istezanja između 30-45 sekundi uzrokuje nešto

veće smanjenje snage (-4,2%). S povećanjem trajanja istezanja (60-120s te >120s) dodatno se povećavaju negativni učinci na snagu (-7,0% te -7,1%) S obzirom na mišićnu kontrakciju, izometrička kontrakcija je smanjena za 8,9% dok je koncentrična smanjena za 5,2% nakon istezanja duljeg od 60 sekundi.

Behm i Chaouchi (2011) su predložili rezultate statičkog istezanja s obzirom na trajanje. Što se tiče snage i jakosti, istezanje do 30 sekundi negativno djeluje za 0,5%. S povećanjem trajanja (30-90 sekundi te >90 sekundi) povećavaju se negativni učinci (-4,7% te 5,9%). Također, intenzitet istezanja (subjektivna procjena nelagode prilikom istezanja) utječe na akutne učinke istezanja. Visoki intenzitet negativno utječe na neuromišićnu aktivaciju te na manje povećanje fleksibilnosti (9,7%) dok istezanje manjim intenzitetom više doprinosi razvoju fleksibilnosti (12.6-13.9%).

Behm i sur. (2016) su na temelju 76 studija zaključili da statičko istezanje smanjuje jakost za 4,8%. Također su podijelili rezultate s obzirom na trajanje. Istezanje kraće od 60 sekundi smanjuje jakost za 2,8% dok istezanje dulje od 60 sekundi smanjuje jakost za 5,1%.

Također, mišićna aktivacija i mišićna snaga su znatno smanjeni do 60 minuta (Fowles i sur., 2000), odnosno do 2 sata (Power i sur., 2004) nakon istezanja. Važno je i napomenuti da količina istezanja koja značajno smanjuje snagu može biti između 20 i 40 sekundi (Knudson i Noffal, 2005), međutim to značajno smanjenje ovisi o intenzitetu provođenja istezanja te aktivnosti koja slijedi nakon istezanja.

Za razliku od akutnih učinaka statičkog istezanja, kronični učinci su drugačiji. Od 9 studija koje je Shrier (2004) izdvojio, 7 prikazuje pozitivne učinke, a 2 dvosmislene učinke. Kronično istezanje povećava maksimalnu izometričku silu te brzinu kontrakcije mišića.

Kronični učinci statičkog istezanja su pozitivniji. Utječe na povećanje opsega pokreta (Behm i Chaouchi, 2011; Shrier, 2004) te na mehanički izlaz mišića (Shrier, 2004) koji bi mogao biti rezultat hipertrofije kao posljedica prilagodbe mišića na istezanje (Rubini i sur., 2007).

Na temelju navedenih radova možemo uočiti da je statičko istezanje, ukoliko se provodi dulje od 60 sekundi po mišićnoj skupini, problematičnije i negativno utječe na komponente snage, jakosti i brzine. S druge strane, kraće trajanje (<60s) ima zanemariv utjecaj te se sigurno može koristiti prije vježbanja/aktivnosti bez značajnog smanjenja izvedbe. Osim toga, intenzitet istezanja ima velik utjecaj na akutno povećanje opsega

pokreta. Veći intenzitet, odnosno veća nelagoda pri izvedbi, uzrokuje manje povećanje opsega pokreta te neuromišićnu aktivaciju od izvedbe manjim intenzitetom.

Kronični učinci statičkog istezanja su drugačiji te imaju pozitivan učinak ne samo na povećanje opsega pokreta već i na povećanje sile i brzine mišićne kontrakcije. To nam sugerira da bi zasebni treninzi fleksibilnosti trebali biti zastupljeniji u svakodnevnoj praksi zbog utjecaja ne samo na opseg pokreta već i na povećanje mišićne izvedbe.

4.1.2. UTJECAJ VJEŽBI STATIČKOG ISTEZANJA NA BRZINU

Što se tiče utjecaja istezanja na brzinu trčanja, Shrier (2004) navodi 4 studije od kojih 2 pokazuju dvosmislene, 1 pozitivne i 1 negativne rezultate. Nažalost autor nije prikazao kvantificirane rezultate tih istraživanja.

Eksplzivna izvedba se smanjuje za 2,0%. Ako pogledamo jedino brzinu trčanja, odnosno rezultate u sprintu, autori navode smanjenje od 1,6% nakon statičkog istezanja. Isto kao i kod drugih sposobnosti, sa povećanjem trajanja istezanja, povećavaju se i negativni učinci (<45s -0,8%; >90s -4,5%). (Šimić i sur., 2013)

Istezanje <45s smanjuje brzinu za 0,4% dok se s povećanjem trajanja (60-120s te >120s) povećavaju i negativni učinci (-2,7% odnosno -4,5%). (Kay i Blazevich, 2012)

Behm i Chaouchi (2011) navode da je za razliku od utjecaja na snagu i jakost, utjecaj na brzinu nešto drugačiji. Trajanje statičkog istezanja od 0-30 sekundi smanjuje brzinu za 1,3% dok trajanje od 30-90 sekundi smanjuje brzinu za 0,9%. Vidimo da negativni učinci nisu toliko značajni kao kod snage i jakosti.

Peck i sur. (2014) navode da statičko istezanje ima negativan utjecaj na brzinu. Međutim, ukoliko je ono kombinirano sa dinamičkim istezanjem, može doći do pozitivnijih učinaka na brzinu.

Behm i sur. (2016) su na temelju 52 studije naveli da se eksplozivna izvedba (pod koju navode i sprint), smanjuje za 1.3%. Trajanje istezanja kraće od 60 sekundi smanjuje izvedbu za samo 0,15%. S druge strane, s povećanjem trajanja istezanja (>60 sekundi) povećava se i smanjenje izvedbe za 2,6%.

Iz navedenih studija vidimo da se brzina smanjuje nakon primjene statičkog istezanja. Međutim, to smanjenje je malo te bi mogli reći i zanemarivo. To se naročito odnosi na

učinke istezanja trajanja do 60 sekundi. Slično kao i s utjecajem statičkog istezanja na jakost, s povećanjem trajanja istezanja se povećavaju i negativni učinci.

Ukoliko je statičko istezanje kombinirano s dinamičkim istezanjem, učinci su pozitivniji. To je ujedno i praksa prilikom provedbe zagrijavanja, tj. da se nakon seta statičkih vježbi istezanja provede set dinamičkih vježbi kako bi se smanjili negativni učinci odnosno postigla dodatna prilagodba mišićno-tetivnog sustava na daljnju aktivnost.

4.2. DINAMIČKO ISTEZANJE

Dinamičko istezanje je proces u kojem se koristi aktivnost agonista i sinergista kako bi se zglob dinamički proveo kroz opseg pokreta. Koristi se mehanizam recipročne inhibicije antagonista koji rezultira većim opsegom pokreta. (Alter, 2004; Birch i sur., 2005) Dinamičko istezanje koristi sport-specifične pokrete kako bi se tijelo pripremilo za nadolazeću aktivnost. Drugim riječima dinamičko istezanje se može definirati i kao aktivno gibanje zglobova/zglobova kroz opseg pokreta potrebnim za određenu aktivnost ili sport. Kod ove vrste istezanja naglasak je na pokretima koje zahtjeva pojedini sport, radije nego na individualne mišiće. (Jeffreys, 2008) Efektivno dinamičko istezanje u sklopu zagrijavanja se može postići za 10 do 15 minuta ukoliko su sportaši upoznati s vježbama. (Mann i Jones, 1999)

Postoji nekoliko prednosti dinamičkog istezanja. Za razliku od statičkog istezanja tijekom kojega se smanjuje temperatura tijela i mišića, kod dinamičkog ne dolazi do gubitka temperature nakon generalnog zagrijavanja. (Jeffreys, 2008) To podizanje tjelesne temperature povećava provodljivost živčanih impulsa te mišićnu rastezljivost kao i protok enzima, što za posljedicu ima ubrzavanje procesa proizvodnje energije. (Behm i sur., 2016) Koriste se vježbe višezglobnog karaktera koje uključuju pokrete u više ravnina, karakterističnima za sportsku aktivnost. Također, vremenski su efikasne što je bitno kada je vrijeme za zagrijavanje ili trening ograničeno. (Jeffreys, 2008) Osim toga, dinamičko istezanje aktivira mišiće, što omogućava kvalitetniju kontrakciju i koordinaciju mišića u različitim obrascima pokreta kao i manje umaranje tijekom aktivnosti. (Shrier, 2004) Behm i Chaouchi (2011), osim prije spomenutog povećanja temperature tijela i mišića, prikazuju i druge prednosti dinamičkog istezanja, a to su: post-aktivacijska potencijacija u istegnutom mišiću, stimulacija živčanog sustava te smanjena inhibicija antagonista.

Drugim riječima, sportaš je pripremljeniji na rad nakon kompleksa vježbi dinamičkog karaktera za razliku od drugih vrsta istezanja.

Intenzitet dinamičkog istezanja bi trebao odgovarati razini znanja i pripremljenosti sportaša, uz dodatak da ne bi trebao izazivati nepotreban umor kod sportaša. (Mann i Jones, 1999)

Prekomjerni volumen dinamičkih vježbi uzrokuje umor mišića što negativno utječe na mehanički izlaz mišića. (Peck i sur., 2014) Ukoliko je mišić umoran i preopterećen, on ne može postići puni opseg pokreta (Appleton, 1998) uz proizvodnju manje sile. Vježbe bi se trebale izvoditi od jednostavnijih prema složenijima te od sporijih prema bržima uz aktivaciju svih dijelova tijela i oponašajući pokrete koje će se izvoditi tijekom treninga ili utakmice. (Mann i Jones, 1999)

4.2.1. UTJECAJ VJEŽBI DINAMIČKOG ISTEZANJA NA JAKOST

Behm i Chaouchi (2011) navode da dinamičko istezanje utječe na facilitaciju jakosti te izvedbu sprinta i skokova, za razliku od statičkog istezanja koje ima inhibitorni učinak. Ističu da kraće trajanje dinamičkog istezanja nema utjecaja dok duže trajanje poboljšava izvedbu. Što se tiče jakosti istezanje kraće od 90 sekundi povećava jakost za 0,5% dok istezanje duže od 90 sekundi povećava jakost za 7,3%.

Dinamičko istezanje pozitivno utječe na snagu i jakost ukoliko se provodi neposredno prije izvedbe. (Peck i sur., 2014)

S obzirom da je prikazano da dinamičko istezanje ima velik pozitivni učinak na dimenzije jakosti, nužno ga je i poželjno uključiti u svaki oblik zagrijavanja. Također, kraće istezanje će imati manje pozitivne učinke od dužeg istezanja (>90 sekundi). Nužno je odrediti optimalan odnos između statičkog i dinamičkog istezanja kako bi se ostvarili maksimalni učinci u dimenzijama snage i jakosti te opsega pokreta, u što kraćem vremenskom trajanju istezanja.

4.2.2. UTJECAJ VJEŽBI DINAMIČKOG ISTEZANJA NA BRZINU

Behm i sur. (2016) su istražili 48 studija i zaključili da dinamičko istezanje povećava brzinu trčanja za 1,4% te da brže i intenzivnije izvođenje pozitivnije djeluje na izvedbu od sporijeg izvođenja dinamičkog istezanja.

Peck i sur. (2014) isto tako navode pozitivne učinke dinamičkog istezanja na brzinu ali bez kvantitativnih rezultata.

Yamaguchi i Ishii (2014) također navode da brzina izvođenja dinamičkog istezanja ima utjecaja na eksplozivnu izvedbu, između ostaloga i na sprint. Naime, brzo izvođenje ima pozitivnije učinke od sporijeg izvođenja dinamičkog istezanja (7,6% naprema 1,1%). Uz to, preporučaju izvođenje vježbi „što je brže moguće“, 10-12 ponavljanja/20 metara u 1-2 serije. (Yamaguchi i Ishii, 2014)

Kao što vidimo, utjecaj dinamičkog istezanja na brzinu je pozitivan. To možemo pripisati načinu na koje se pojedine vježbe dinamičkog istezanja provode, tj. simuliraju pokrete koji su vrlo slični trčanju. Uz to, brzina izvođenja vježbi također ima velik utjecaj na veličinu pozitivnih učinaka. Intenzivnije, odnosno brže izvođenje dinamičkog istezanja će imati pozitivnije učinke od sporijeg izvođenja.

Međutim, nužno je paziti da predugo dinamičko istezanje može dovesti do pojave umora što za posljedicu ima smanjeni mehanički izlaz mišića, tj. manje učinkovito izvođenje nadolazećih aktivnosti.

4.3. *PROPRIOCEPTIVNA NEUROMUSKULARNA FACILITACIJA*

Proprioceptivna neuromuskularna facilitacija je naprednija tehnika istezanja koja uključuje kontrakciju i relaksaciju mišića koji se isteže. Ova tehnika je izvorno razvijena kao dio rehabilitacijskih programa jer istodobno povećava fleksibilnost te mišićnu snagu. (Walker, 2013) Appleton (1998) te Sharman i sur. (2006) smatraju da je to najbrža i najefektivnija tehnika istezanja, naročito za kratkotrajno povećanje opsega pokreta te pasivne fleksibilnosti mišića. PNF metoda se rijetko koristi prije aktivnosti iz sljedećih razloga: potreban je partner koji će asistirati pri izvođenju, metoda je često neugodna i bolna te mišićne kontrakcije na većim mišićnim duljinama rezultiraju većim mišićnim

mikrooštećenjima, što za posljedicu ima veći rizik ozljeđivanja mišića (npr. istegnuće i puknuće mišića). (Behm i sur., 2016)

Iako postoje različite varijante PNF metode, u svakoj možemo uočiti tri faze. Prva faza se sastoji od izometričke/ koncentrične kontrakcije agonista. Druga faza je relaksacija mišića, dok treću fazu čini pasivno istezanje agonista/kontrakcija antagonista.

U literaturi postoje suprotnosti što se tiče imenovanja mišića kod PNF istezanja. Neki izvori mišiće koji se istežu smatraju agonistima (Clark i Lucett, 2010; Appleton, 1998) dok ih drugi nazivaju antagonistima (Jeffreys, 2008; Hamill i Knutzen, 2009; Gidu i sur., 2013; Alter, 2004). Iz tog razloga, da ne bi došlo do zabune, u daljnjem dijelu rada svi mišići koji se istežu će se nazivati antagonisti dok će oni koji se ne istežu, odnosno oni koji se nalaze na suprotnoj strani poluge, nazivati agonisti.

Intenzitet kontrakcije bi trebao biti u skladu s razinom pripremljenosti osobe. (Walker, 2013) To znači da osoba koja je u programu rehabilitacije i zdrava pripremljena osoba neće proizvoditi jednaku izometričku kontrakciju. S druge strane, preporuka je da izometrička kontrakcija bude na razini 20% maksimalne voljne kontrakcije mišića kako bi se smanjio rizik od ozljeđivanja. (Sharman i sur., 2006)

Osnova ove metode jest da se u mišiću koji je kontrahiran i pod povećanom napetosti aktivira Golgijev tetivni organ. S povećanjem napetosti aktivira se autogena inhibicija što za posljedicu ima opuštanje mišića te omogućuje veće istezanje. (Birch i sur, 2005; McAtee, 2002) Osim toga obilježje PNF metode je i efekt post-izometričke relaksacije. Osnova tog efekta je da nakon što je mišić kontrahiran, u njemu dolazi do automatskog opuštanja u kratki nadolazeći vremenski period (oko 15 sekundi) nakon kojeg je moguće lakše, zbog manje napetosti, postići novi položaj zgloba ili mišića. (Chaitow, 2006) Također, izometrička kontrakcija umara mišić što smanjuje otpor pri nadolazećem istezanju. (Appleton, 1998)

Postoji nekoliko tehnika PNF metode. U nastavku će biti objašnjene 3 osnovne i najpopularnije varijante. (Jeffreys, 2008; Appleton, 1998; Sharman i sur., 2006; Alter, 2004)

Hold – relax

PNF se izvodi tako da je mišić, odnosno grupa mišića postavljena u istegnuti položaj pod određenom napetošću. Zatim se izvodi prva faza, izometrička kontrakcija, u trajanju 5 do 6 sekundi dok partner ili nepomičan objekt pruža dovoljan otpor kako bi se spriječio pokret. Nakon izometričke kontrakcije antagonista slijedi druga faza, relaksacija (u pravilu 1 sekunda) te treća faza, odnosno kontrolirano pasivno istezanje u trajanju od 30 sekundi. (Walker, 2013; Jeffreys, 2008) Drugi izvori navode dulje vremensko trajanje izometričke kontrakcije (7-15 sekundi) te dulju relaksaciju između kontrakcije i istezanja (2-3 sekunde) uz kraći period pasivnog istezanja od 15 sekundi. (Appleton, 1998; Clark i Lucett, 2010) Sharman i sur. (2006) navode da bi izometrička kontrakcija antagonista trebala trajati puno kraće, oko 3 sekunde.

Contract – relax

Uključuje makismalnu izotoničku kontrakciju antagonista protiv otpora iz istegnutog položaja nakon čega slijedi faza relaksacije. Zatim, partner pasivno pomiče dio tijela do krajnjeg opsega pokreta gdje se zadržava i izvodi pasivno istezanje.

Contract – relax – agonist contract

Izvode se dvije kontrakcije: prvo izometrička kontrakcija antagonista, zatim koncentrična kontrakcija agonista. Razlika u odnosu na hold - relax varijantu je u trećoj fazi gdje dolazi do koncentrične kontrakcije agonista koja aktivira mehanizam recipročne inhibicije i omogućava veće istezanje antagonista. Trajanje prve i treće faze je identično, između 7 i 15 sekundi. (Appleton, 1998)

4.3.1. UTJECAJ PNF ISTEZANJA NA JAKOST

Ograničen je broj istraživanja koji prikazuju neutralan i negativan utjecaj na snagu i jakost. Hindle i sur. (2012) ističu da, ukoliko se provodi prije aktivnosti, PNF metoda ima negativan učinak na mišićnu izvedbu, slično kao i statičko istezanje, dok provođenje nakon aktivnosti ili kao zaseban trening ima pozitivne učinke. Uz to, negativno utječe na

aktivnosti visokog intenziteta dok poboljšava izvedbu koja se izvodi nešto nižim intenzitetom (jogging).

Behm i sur. (2016) su prikazali rezultate 8 studija. Navode da PNF metoda smanjuje rezultate u testovima jakosti za 5,5%.

Učinci nakon PNF istezanja mogu trajati do 90 minuta nakon provedbe istezanja (Hindle i sur., 2012)

Kao što vidimo, utjecaj PNF istezanja na jakost nije dovoljno istražen. Jedan od razloga je zasigurno taj što se PNF istezanje izuzetno rijetko koristi u sklopu zagrijavanja. Uglavnom se koristi kao dio pojedinačnog treninga odnosno u sklopu rehabilitacije u svrhu povećanja fleksibilnosti i opsega pokreta te razvoja mišićne snage.

Što se tiče navedenih radova, možemo primijetiti da PNF istezanje ima sličan utjecaj kao i statičko istezanje, tj. ima negativan utjecaj na jakost. Zanimljivo je da ima negativan utjecaj na aktivnosti visokog intenziteta, dok na one nižeg ima pozitivan utjecaj. Uz to učinci mogu trajati dosta dugo (do 90 minuta) što znači da bi, ukoliko se primjenjuje, korištenje u sklopu zagrijavanja trebalo biti ograničeno.

4.3.2. UTJECAJ PNF ISTEZANJA NA MANIFESTACIJU SNAGE

Što se tiče eksplozivne izvedbe (skok), rezultati na temelju 3 studije prikazuju smanjenje u izvedbi za 1,6%. (Behm i sur., 2016)

Nažalost, još je oskudniji broj radova koji proučavaju utjecaj PNF istezanja na manifestaciju snage i eksplozivne izvedbe. Trenutna je pretpostavka da PNF metoda negativno utječe na snagu. Definitivno je metoda PNF istezanja ona koja je najmanje istraжена i jedno je od područja koje zahtjeva daljnja istraživanja u svrhu određivanja točnih učinaka ove sve popularnije metode.

4.4. UZROCI SMANJENJA MEHANIČKOG IZLAZA MIŠIĆA NAKON ISTEZANJA

4.4.1. NEUROLOŠKI UZROCI

McHugh i sur. (2010) su prikazali jedan od mogućih uzroka smanjenog mehaničkog izlaza mišića nakon istezanja. Izduživanje neuralnih tkiva može doprinijeti pasivnom otporu na istezanje s jedne strane te mišićnoskeletnoj fleksibilnosti s druge strane. Dva su bitna zaključka koje oni navode: 1. neuralna napetost je jedan od faktora koji može utjecati na pojavu ozljeda, 2. neuralna napetost tijekom pasivnog istezanja može biti neuralni mehanizam za gubitak snage nakon istezanja. Ta neuralna napetost uzrokuje neuralnu inhibiciju, odnosno smanjenu podražljivost živčanih struktura. Iz toga možemo zaključiti da je bitno na koji način se provode vježbe istezanja. Ukoliko se one provode nepravilno, odnosno ukoliko se istežu i neuralne strukture, to može dovesti do akutnog pada snage.

Do sličnog zaključka vezanog uz neuralnu inhibiciju, odnosno smanjene aktivacije motoričke jedinice došli su u i mnogi drugi autori u svojim istraživanjima (Avela i sur., 1999; Behm i sur., 2001; Marek i sur., 2005; Power i sur., 2005; Fowles i sur., 2000). Behm i sur. (2016) ističu još dva moguća razloga koji utječu na smanjenje mehaničkog izlaza mišića, a to su: smanjenje povratnih informacija iz mišićnog vretena te promijenjena podražljivost spinalnih interneurona i postsinaptičke pukotine. Iz toga vidimo da su promjene na spinalnoj razini usko povezane sa smanjenjem sile koju mišić ima sposobnost generirati nakon istezanja. Fowles i sur. (2000) navode smanjenje maksimalne voljne kontrakcije plantarnih fleksora od čak 28% nakon statičkog istezanja. Jedan od mogućih uzroka, kako navode Behm i sur. (2001), bi mogao biti i aktivacija nociceptora. Smanjenje snage i jakosti nakon istezanja posljedica je inhibitornog učinka nakon ponavljanih istezanja.

Također, Cramer i sur. (2005) su istražili da statičko istezanje na dominantnoj nozi rezultira smanjenim momentom sile i smanjenom aktivacijom motoričke jedinice kako u istegnutoj, tako i u neistegnutoj nozi. To je još jedan od pokazatelja da smanjeni mehanički izlaz mišića može biti rezultat inhibitornog djelovanja istezanja na središnji živčani sustav. (Cramer i sur., 2005)

4.4.2. MEHANIČKI UZROCI

Povećanje opsega pokreta u zglobu je povezano sa smanjenjem pasivnog otpora na istezanje. To smanjenje pasivnog otpora se odnosi na smanjenje krutosti ili na povećanje rastezljivosti mišićno-tetivne jedinice. (Behm i sur., 2016; Witvrouw i sur., 2004) Ukoliko se mišićno-tetivna jedinica produljuje i postaje rastezljivija, kontraktilni elementi se nalaze na većoj udaljenosti jedni od drugih te se moraju kontrahirati preko veće udaljenosti što rezultira vremenski duljim prijenosom energije kroz mišićno-tetivnu jedinicu i samim time smanjenim momentom sile i sporijim stupnjem razvoja sile (Witvrouw i sur., 2004), što u konačnici uzrokuje smanjenu efikasnost prijenosa sile s mišića na kost (Behm i sur., 2016) Još jedan razlog bi moglo biti oštećenje mišića prilikom istezanja, odnosno njegovih kontraktilnih elemenata. (Behm i sur., 2016; Shrier, 2004) Istezanje mišića od 20% u odnosu na razinu u mirovanju može uzrokovati mišićno oštećenje, što rezultira smanjenim generiranjem sile. (Shrier, 2004)

5. ZAKLJUČAK

Možemo zaključiti da statičko istezanje ima negativan utjecaj na jakost, snagu i eksplozivnu izvedbu te da se negativni efekti smanjuju sa smanjenjem duljine istezanja. Također, negativni efekti ne ovise o dobi, spolu i statusu treniranosti, već ovise o trajanju i intenzitetu istezanja kao i vrsti i specifičnosti zadatka koji se izvodi. Naravno, ti negativni efekti će imati puno veći značaj kod vrhunskih sportaša nego kod rekreativne populacije. Važno je za napomenuti da ti negativni učinci relativno mali te brzo prolazni. Međutim, ne smije se zapostaviti smirujući utjecaj statičkog istezanja na sportaša kao ni utjecaj na povećanje fleksibilnosti i opsega pokreta. Mnogi sportaši imaju rutinu primjene te vrste istezanja prije aktivnosti te bi možda izbacivanje tog dijela pripreme negativno utjecalo na krajnju izvedbu. Ukoliko se koristi, vrlo je bitno paziti na doziranje volumena statičkog istezanja tijekom zagrijavanja kod vrhunskih sportaša. Osim toga, nakon statičkog istezanja bi trebalo slijediti dinamičko istezanje te kretnje srodne i specifične za nadolazeću aktivnost čime se smanjuju negativni učinci statičkog istezanja na sportsku izvedbu.

Vrlo slične učinke na izvedbu ima i metoda proprioceptivne neuromuskularne facilitacije (PNF). Ona bi se također trebala izbjegavati tijekom zagrijavanja zbog svoje kompleksnosti te negativnog akutnog učinka na mišićnu mikrostrukturu. Statičko i PNF istezanje se više preporučuje koristiti na kraju provednog treninga/utakmice/aktivnosti u svrhu normalizacije fizioloških funkcija i smanjivanju tjelesne temperature, odnosno kao zasebni trening u svrhu razvoja fleksibilnosti i povećanja opsega pokreta.

Na kraju dolazimo do dinamičkog istezanja koje se pokazalo kao najučinkovitija metoda istezanja tijekom zagrijavanja iz razloga što pozitivno utječe na dimenzije snage, jakosti te eksplozivne izvedbe (skok, brzina).

Ipak, na trenerima i sportašima je da odluče koji modaliteti vježbi istezanja im najviše odgovaraju i koje će postupke koristiti tijekom zagrijavanja odnosno pripreme za trening ili natjecanje.

6. PRAKTIČNE PREPORUKE ZA PRIMJENU VJEŽBI ISTEZANJA

- Izbjegavati statičko i PNF istezanje kao samostalnu aktivnost tijekom zagrijavanja
- Slobodno provoditi statičko istezanje u trajanju do najviše 60 sekundi po mišićnoj skupini; duže provođenje istezanja (>60 s) negativno utječe na komponente snage, jakosti i brzine
- Nakon statičkog istezanja poželjno je provesti set dinamičkog istezanja; na primjer, 10-12 ponavljanja vježbe kroz 20 metara u 1-2 serije brzim tempom
- Nakon dinamičkog istezanja provoditi specifične sportske kretnje vezane uz nadolazeću aktivnost/sport
- Koristiti statičko istezanje na kraju aktivnosti u svrhu normalizacije fizioloških funkcija i smanjivanju tjelesne temperature (tzv. *cool down*)
- Koristiti statičko i PNF istezanje kao zasebni trening u svrhu povećanja opsega pokreta i mehaničkog izlaza mišića

7. LITERAUTRA

1. Alter, M.J. (2004). *Science of Flexibility*, 3rd ed. Champaign, IL: Human Kinetics.
2. Appleton, B. (1998). *Stretching and Flexibility: Everything you never wanted to know*. [ebook] Available at: <http://www.bradapp.com/docs/rec/stretching/stretching.pdf> [Accessed 1 Jul. 2016].
3. Avela J., Kyröläinen H. & Komi P.V. (1999) Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *Journal of Applied Physiology*; 86: 1283–1291.
4. Behm, D.G., Blazeovich, A.J., Kay, A.D. & McHugh, M. (2016) Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: A systematic review. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*; 41: 1-11.
5. Behm, D.G., Button, D.C. & Butt, J.C. (2001) Factors affecting force loss with prolonged stretching. *Canadian Journal of Applied Physiology*; 26: 261-272.
6. Behm, D.G. & Chaouachi, A. (2011) A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *European Journal of Applied Physiology*; 111(11): 2633-51.
7. Biel, A. (2005). *Trail Guide to the Body*, 3rd ed. Boulder, CO: Books of Discovery.
8. Birch, K, MacLaren, D, George K. (2005). *Sports and Exercise Physiology*, 1st ed. New York, NY: Garland Science/BIOS Scientific Publishers.
9. Chaitow, L. (2006). *Muscle Energy Techniques*, 3rd ed. Philadelphia, PA: Elsevier Inc.
10. Clark, M.A. & Lucett, S.C. (2010). Flexibility Training for Performance Enhancement. U M.A. Clark, M.A. & S.C. Lucett (ur.) *NASM Essentials of Sports Performance Training*, 1st ed. (str. 121-152) Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business.
11. Cramer, J.T., Housh, T.J., Weir, J.P., Johnson, G.O., Coburn, J.W., Beck T.W. (2005) The acute effects of static stretching on peak torque, mean power output, electromyography, and mechanomyography. *European Journal of Applied Physiology*; 93: 530-539.

12. Curwin, S. (2005). Joint Structure and Function. U P.K. Levangie & C.C. Norkin (ur.) *Joint Structure & Function: A Comprehensive Analysis*. (str. 69-111) Philadelphia, PA: F. A. Davis Company.
13. Enoka, R.M. (2008). *Neuromechanics of Human Movement*, 4th ed. Champaign, IL: Human Kinetics.
14. Falsone, S. (2014). Optimising Flexibility. U D. Joyce & D. Lewindon (ur.) *High-Performance Training for Sports*. (str. 61-70) Champaign, IL: Human Kinetics.
15. Fowles J.R., Sale D.G. & MacDougall J.D. (2000) Reduced strength after passive stretch of the human plantar flexors. *Journal of Applied Physiology*; 89: 1179–1188.
16. Fung, Y.C. (1993). *Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues*, 2nd ed. New York, NY: Springer Science+Business Media.
17. Gidu, D. V., Ene-Voiculescu, C., Straton, A., Oltean, A., Cazan, F. & Duta, D. (2013) PNF (PROPRIOCEPTIVE NEUROMUSCULAR FACILITATION) STRETCHING TECHNIQUE – A BRIEF REVIEW. *Science, Movement and Health*; 13 (2), 623-628.
18. Guyton, A.C. & Hall, J.E. (2006). *Textbook of Medical Physiology*, 11th ed. Philadelphia, PA: Elsevier Inc.
19. Hamill, J. & Knutzen, K.M. (2009). *Biomechanical Basis of Human Movement*, 3rd ed. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business.
20. Hindle, K.B., Whitcomb, T.J., Briggs, W.O. & Hong, J. (2012) Proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF): Its mechanisms and effects on range of motion and muscular function. *Journal of Human Kinetics*; 31: 105-113.
21. Hunter, G.R. & Harris, R.T. (2008). Structure and Function of the Muscular, neuromuscular, Cardiovascular, and respiratory Systems. U T.R. Baechle & R.W. Earle (ur.) *NSCA Essentials of Strength Training and Conditioning*, 3rd ed. (str. 3-20) Champaign, IL: Human Kinetics.
22. Jeffreys, I. (2008) Warm-up and Stretching. U T.R. Baechle & R.W. Earle (ur.) *NSCA Essentials of Strength Training and Conditioning*, 3rd ed. (str. 295-324) Champaign, IL: Human Kinetics.

23. Kay, A.D. & Blazevich, A.J. (2012) Effect of acute static stretch on maximal muscle performance: A systematic review. *Medicine & Science in Sports & Exercise*; 44(1): 154-164.
24. Knudson, D. & Noffal, G. (2005) Time course of stretch-induced isometric strength deficits. *European Journal of Applied Physiology*; 94(3): 348-51.
25. Knudson, D. (2006) The Biomechanics of Stretching. *Journal of Exercise Science & Physiotherapy*; 2: 3-12.
26. Knudson, D. (2007). *Fundamentals of Biomechanics*, 2nd ed. New York, NY: Springer Science+Business Media, LLC.
27. Kubo, K., Kanehisa H., Kawakami Y. & Fukunaga T. (2001) Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *Journal of Applied Physiology*; 90(2): 520-527.
28. Latash, M.L. (2012). *Fundamentals of Motor Control*. London, UK: Elsevier Inc.
29. Magnusson, S.P. (1998) Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers: a review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*; 8: 65-77.
30. Mann, D.P. & Jones M.T. (1999) Guidelines to the implementation of a dynamic stretching program. *Strength & Conditioning Journal*; 21(6): 53-55.
31. Marek, S.M., Cramer, J.T., Fincher, L.A., Massey, L.L., Dangelmaier, S.M., Purkayastha, S., Fitz, K.A. & Culbertson, J.Y. (2005) Acute effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. *Journal of Athletic Training*; 40: 94-103.
32. McAtee, R.E. (2002) An overview of facilitated stretching. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*; 6(1): 47-54.
33. McHugh, M.P. & Cosgrave, C.H. (2010) To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*; 20: 169-181.
34. McHugh, M.P., Johnson C.D. & Morrison R.H. (2012) The role of neural tension in hamstring flexibility. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*; 22(2): 164-9.

35. McHugh, M.P., Magnusson, S.P., Gleim, G.W. & Nicolas, J.A. (1992) Viscoelastic stress relaxation in human skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 24: 1375-1382.
36. McMahon, T.A. (1984). *Muscles, Reflexes, and Locomotion*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
37. McNair, P.J., Dombroski, E.W., Hewson, D.J & Stanley, S.N. (2000) Stretching at the ankle joint: viscoelastic responses to holds and continuous passive motion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 33: 354-358.
38. Mikulić, P. & Marković, G. (2015). *Odabrana poglavlja iz motoričke kontrole*. Zagreb: Interna skripta, KIFZG.
39. Moller, M., Ekstrand, J., Oberg, B. & Gillquist, J. (1985) Duration of stretching effect on range of motion in lower extremities. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*; 66: 171-173.
40. Nelson A.G. & Kokkonen, J. (2007). *Stretching Anatomy*. Champaign, IL: Human Kinetics.
41. Peck, E., Chomko, G., Gaz, D.V. & Farrell, A.M. (2014) The effects of stretching on performance. *Current Sports Medicine Reports*; 13(3): 179-85.
42. Power, K., Behm, D., Cahill, F., Carroll, M. & Young, W. (2004) An acute bout of static stretching: effects on force and jumping performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 36: 1389-1396.
43. Rubini E.C., Costa A.L. & Gomes P.S. (2007) The effects of stretching on strength performance. *Sports Medicine*; 37: 213–224.
44. Sharman M.J., Cresswell, A.G. & Riek, S. (2006) Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching. *Sports Medicine*; 36 (11): 929-939.
45. Shrier I. (2004) Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. *Clinical Journal of Sport Medicine*; 14: 267–273.
46. Simic, L., Sarabon, N. & Markovic, G. (2013) Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*; 23: 131-148.

47. Smith, C.A. (1994) The Warm-Up Procedure: To Stretch or Not to Stretch. A Brief Review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*; 19(1):12-7.
48. Taylor, D.C., Dalton, J.D., Seaber, A.V. & Garrett, W.E. (1990) Viscoelastic properties of muscle-tendon units. *American Journal of Sports Medicine*; 18 (3): 300-9.
49. Walker, B. (2013). *Ultimate guide to stretching & flexibility*. Long Island City, NY: InjuryFix.
50. Wilson G.J., Elliott B.C. & Wood G.A. (1992) Stretch-shortening cycle performance enhancement through flexibility training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 24: 116-23.
51. Witvrouw, E., Mahieu, N., Danneels, L. & McNair, P. (2004) Stretching and Injury Prevention. *Sports Medicine*; 34(7): 443-449.
52. Yamaguchi, T. & Ishii, K. (2014) An optimal protocol for dynamic stretching to improve explosive performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 3(1): 121-129.

POPIS SLIKA:

Slika 1. Građa skeletnog mišića - Izvor: *NSCA Essentials of Strength Training and Conditioning*

Slika 2. Mehanizam mišićne kontrakcije - S mreže preuzeto 2. rujna 2016. s:
<http://www.bio.miami.edu/tom/courses/protected/MCB6/ch17/17-30.jpg>

Slika 3. Građa tetive - S mreže preuzeto 2. rujna 2016. s:
http://tendonstudy.com/wp-content/uploads/2014/11/Tendon_Structure.jpg

Slika 4. Mišićno vreteno - S mreže preuzeto 2. rujna 2016. s:
<http://drknight-kinesiology.blogspot.hr/2012/09/neural-control-of-movement-part-ii.html>

Slika 5. Golgijev tetivni organ - S mreže skinuto 2. rujna 2016. s:
<http://www.rrnursingschool.biz/unity-companies/somatic-reflexes.html>